

Dr. ing. Cesare Campanini – Via Matteotti, 3 - 27058 VOGHERA (PV)
Tel./Fax : 0383 270215 Cell. 335 6634795 e-mail: c.campanini@libero.it

RELAZIONE GEOTECNICA

E SULLE FONDAZIONI

Elab.04

Per

**INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO
A RISCHIO IDROGEOLOGICO**

Codice CUP J35F22000320005

Muro Parcheggio Piazza Antico Lavello

PROGETTO ESECUTIVO

CITTÀ DI TORTONA



PROVINCIA DI ALESSANDRIA

Committente:

Città di Tortona

Settore Lavori Pubblici e CUC

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Dallo studio geologico redatto dal Dott. Geol. Andrea Basso si evincono molti dati necessari alla progettazione geotecnica e sismica dell'opera in oggetto, in aggiunta, sono state eseguite altre prove prima della progettazione esecutiva.

Il territorio in cui si inserisce l'area in oggetto è compreso nella porzione orientale della vasta pianura alessandrina che costituisce la terminazione occidentale della Pianura Padana.

L'area di indagine è situata nel concentrico abitato del Comune di Tortona (AL) ad una quota pari a circa 142 metri s.l.m. in corrispondenza di una scarpata a limite tra la porzione sub-pianeggiante in cui sorge Piazza Antico Lavello e un rilievo collinare caratterizzato da pendenze medie.

L'area non risulta essere interessata dalla dinamica fluviale o torrentizia, infatti non vi sono rii e torrenti nelle immediate vicinanze.

Nel settore in esame, il substrato roccioso è caratterizzato dalla presenza delle unità sedimentarie arenaceo marnose e/o marnoso-argillose del Bacino Terziario Piemontese.

Nell'area oggetto di intervento si è verificato, in passato, un dissesto gravitativo che ha interessato la coltre superficiale e provocato varie lesioni al muro di sostegno sottostante la scarpata, lesioni formatosi anche per vetusta e caratteristiche realizzative del muro.

La pendenza su cui si è sviluppato il dissesto è elevata compresa tra i 40° e i 50°, il pendio sopra al muro, mediamente, sale con pendenza 30°.

Dalla seguente immagine si evince uno stralcio cartografico:



Stralcio planimetrico della Carta Geologica

Al fine di effettuare una adeguata caratterizzazione del sito, in relazione alle opere in progetto sono state condotte una serie di indagini in sito, mirate in particolare alla valutazione dello sviluppo geometrico e delle caratteristiche geotecniche dei terreni di superficiali.

Le indagini, allegato allo studio geologico, hanno compreso oltre al rilevamento geologico e geomorfologico di superficie, l'esecuzione di n.1 indagine sismica di tipo MASW, n.2 prove penetrometriche dinamiche (p. pesante) e n.3 prove penetrometriche dinamiche (p. leggero).



PI-Sito di indagine

I dati ottenuti dalla prova penetrometrica permettono di ottenere la seguente stratigrafia del terreno:

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP1		
PROFONDITA' (m p.c.)	ORIZZONTE	LITOLOGIA
0,00 m - 0,70 m	R ₀	Materiali eterogenei sciolti (Riporti)
0,70 m - 1,90 m	A ₁	Argille sabbioso-limose consistenti (substrato alterato)
1,90 m - 2,50 m (fine prova)	B _A	Substrato marnoso-arenaceo (substrato)
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP2		
PROFONDITA' (m p.c.)	ORIZZONTE	LITOLOGIA
0,00 m - 0,60 m	R ₀	Materiali eterogenei sciolti (Riporti)
0,60 m - 1,10 m	A ₁	Argille sabbioso-limose consistenti (substrato alterato)
1,10 m - 1,60 m	A ₂	Argille sabbioso-limose molto consistenti (substrato alterato)
1,60 m - 1,90 m (fine prova)	B _A	Substrato marnoso-arenaceo (substrato)
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP3		
PROFONDITA' (m p.c.)	ORIZZONTE	LITOLOGIA
0,00 m - 1,10 m	R ₀	Materiali eterogenei sciolti (Riporti)
1,10 m - 1,40 m	A ₁	Argille sabbioso-limose consistenti (substrato alterato)
1,40 m - 1,70 m (fine prova)	B _A	Substrato marnoso-arenaceo (substrato)

E la definizione dei seguenti parametri geotecnici:

ORIZZONTE GEOTECNICO R₀

peso di volume naturale γ' = 18 kN/m³

ORIZZONTE GEOTECNICO A₁

angolo di attrito efficace ϕ' = 26-27° *
 coesione efficace c' = 3-5 kPa *
 coesione non drenata C_u = 30-50 kPa
 peso di volume naturale γ' = 18 kN/m³
 Densità relativa D_r = 20-30%
 * condizioni drenate

ORIZZONTE GEOTECNICO A₂

angolo di attrito efficace ϕ' = 27-29° *
 coesione efficace c' = 3-5 kPa *
 coesione non drenata C_u = 30-50 kPa
 peso di volume naturale γ' = 18 kN/m³
 Densità relativa D_r = 30-40%
 * condizioni drenate

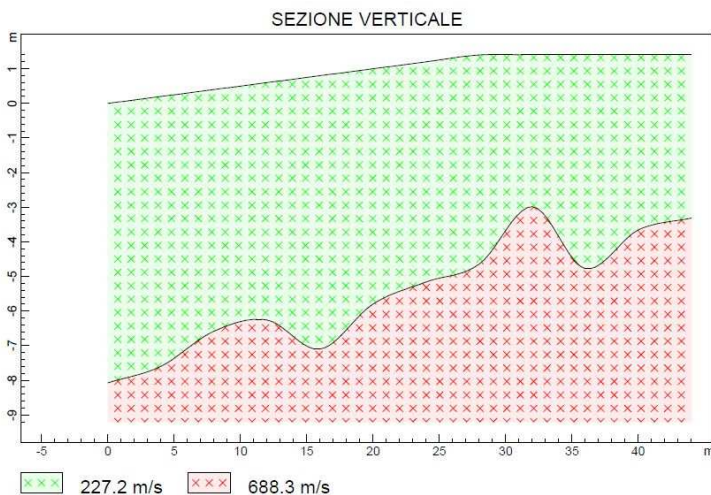
ORIZZONTE GEOTECNICO B_A

angolo di attrito efficace ϕ' = 31-33°
 coesione efficace c' = 10-15 kPa
 peso di volume naturale γ' = 21 kN/m³

Per quanto concerne la caratterizzazione sismica:

Dalle analisi effettuate, la categoria del suolo di fondazione può essere posta di tipo **"B"**: *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 e 800 m/s.*

La categoria topografica del sito è **T2**, per pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$.



Al fine di meglio approssciare la progettazione esecutiva, sono state eseguiti saggi ispettivi delle fondazioni e una indagine Sismica a Rifrazione (eseguita dalla APPLI sas di Velicogna), al fine di meglio individuare la posizione del substrato roccioso.

FONDAZIONE – CAPACITA' PORTANTE

Viste le caratteristiche geotecniche del terreno, riportate nello studio geologico e sopra riportate, si è ipotizzato un modello di fondazione poggiante sullo strato A1, con fondazione continua 0.35x1m posta ad una profondità di 0,40 m rispetto al PIANO CAMPAGNA per un primo tratto e una fondazione continua 0.6x1.4m ad una profondità di 1m per la restante parte, poggianti su pali di fondazione di diametro D=300mm profondi 6.5m e 6m ancorati sullo strato marnoso B.

Sono stati ipotizzati pali ogni 3m di fondazione.

VERIFICA GEOTECNICA PALI DI FONDAZIONE

- CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE (PALI TRIVELLATI Φ 300)

Il carico massimo di esercizio (SLU) è stato determinato tramite i seguenti calcoli, in base alle caratteristiche del terreno:

- Palo L=6.5m

terreno					N SPT	τ_s	α	Dsi	τ_{sk}	τ_{sk}	$\tau_{sd,t}$	$\tau_{sd,c}$	QI,sd	QI,sd
quote	Strati	descrizione	tipo		N1(60)		α^*D	media	minima	trazione	compress	trazione	compress	
0.00	m				(°)	MPa	(m)	MPa	MPa	MPa	MPa	kN	kN	
1.00	0.50	materiali sciolti	AL	AL	0	0.000	1.10	0.330	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
1.00	4.00	argille sabbioso limose consist.	SG	SG	22	0.111	1.10	0.330	0.072	0.078	0.057	0.062	237.60	258.26
1.00	2.00	substrato marnoso	SG	SG	30	0.153	1.10	0.330	0.099	0.108	0.079	0.086	164.10	178.37
L _{utile} = 6.50 m					Capacità portante laterale di progetto QI,sd (GEO) (kN)								401.71	436.64
					+	(%)	10	Capacità portante di base di progetto Qb,sd (GEO) (kN)					==	43.66
					Capacità portante di progetto Qtot,sd (GEO) (kN)								401.71	480.30

- Palo L=6m

terreno					N SPT	τ_s	α	Dsi	τ_{sk}	τ_{sk}	$\tau_{sd,t}$	$\tau_{sd,c}$	QI,sd	QI,sd
quote	Strati	descrizione	tipo		N1(60)		α^*D	media	minima	trazione	compress	trazione	compress	
0.00	m				(°)	MPa	(m)	MPa	MPa	MPa	MPa	kN	kN	
1.00	0.50	materiali sciolti	AL	AL	0	0.000	1.10	0.330	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
1.00	4.00	argille sabbioso limose consist.	SG	SG	22	0.111	1.10	0.330	0.072	0.078	0.057	0.062	237.60	258.26
1.00	1.50	substrato marnoso	SG	SG	30	0.153	1.10	0.330	0.099	0.108	0.079	0.086	123.08	133.78
L _{utile} = 6.00 m					Capacità portante laterale di progetto QI,sd (GEO) (kN)								360.68	392.04
					+	(%)	10	Capacità portante di base di progetto Qb,sd (GEO) (kN)					==	39.20
					Capacità portante di progetto Qtot,sd (GEO) (kN)								360.68	431.25

Verifica:

Dato il carico totale gravante sui pali pari a 355.1 kN, la verifica risulta soddisfatta per entrambi i pali di lunghezza diversa:

$$\text{Palo } L=6.5\text{m} \rightarrow 355.1 \text{ kN} \leq 480.30 \text{ kN} \quad \textit{Verificato}$$

$$\text{Palo } L=6\text{m} \rightarrow 355.1 \text{ kN} \leq 431.25 \text{ kN} \quad \textit{Verificato}$$

VERIFICA GEOTECNICA TIRANTI

I tiranti utilizzati presentano le seguenti caratteristiche:

- Tirante superiore $L_{\text{tot}}=17\text{m}$ - inclinazione 15°
- Tirante inferiore $L_{\text{tot}}=18\text{m}$ - inclinazione 15°

È stato eseguito un calcolo analitico per determinare la resistenza caratteristica allo sfilamento, utilizzando i valori dei parametri di resistenza desunti dalle prove fatte.

La verifica risulta soddisfatta quando: **Ed < Rd**

Dove:

Ed è la sollecitazione massima di trazione determinata tramite il programma di calcolo, trovata come reazione puntuale alle sollecitazioni di spinta del terreno, come già riportato in relazione tecnica:

$$\text{Ed (tirante superiore muro 88m)} = 295 \text{ kN}$$

$$\text{Ed (tirante inferiore muro 88m)} = 352 \text{ kN}$$

$$\text{Ed (tirante inferiore muro 19m)} = 157,5 \text{ kN}$$

Rd è la resistenza allo sfilamento determinata come segue:

$$Rd = \pi \cdot D \cdot \gamma \cdot d_2 \cdot L \cdot K \cdot \tan\Phi + C_a \cdot \pi \cdot D \cdot L$$

- D è il diametro reso del bulbo [m]
- γ è il peso di volume del terreno [kN/m^3]
- L è la lunghezza del bulbo [m]
- d_2 è la distanza tra piano campagna e mezzeria del bulbo [m]
- K è il coefficiente di spinta [-]
- θ è l'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale del tirante [rad]
- Φ è l'angolo di attrito interno del terreno [°]
- C_a è la coesione [kN/m^2]

Effettuando i calcoli sia per il tirante superiore che inferiore, per entrambi è stata calcolata la

resistenza allo sfilamento per due tratti di tirante, uno inserito nella fascia di orizzonte geotecnico A2 con effettivi parametri e uno inserito nella fascia di orizzonte geotecnico B_A, ottenendo i seguenti risultati:

TIRANTE SUPERIORE										
	Ca [kN/m ²]	L [m]	Ka [-]	D [m]	Y [kN/m ³]	d2 [m]	Φ [°]	tanΦ	Rac	FC
1°tratto	30.303	3.92	0.333	0.17	18	8.53	27	0.510	69.800	1.2
2°tratto	60.606	8.58	0.333	0.17	18	12.96	31	0.601	294.071	1.2
TOT. Rd									363.871	303.226

TIRANTE INFERIORE										
	Ca [kN/m ²]	L [m]	Ka	D [m]	Y [t/m ³]	d2 [m]	Φ [°]	tanΦ	Rac	FC
1°tratto	30.303	4.02	0.333	0.17	18	8.09	27	0.510	71.580	1.2
2°tratto	60.606	10.98	0.333	0.17	18	14.02	31	0.601	376.329	1.2
TOT. Rd									447.909	373.258

La verifica risulta soddisfatta poiché si ottiene:

Muro 88,0 m (H 4,50)

Tirante superiore → Ed=295 kN < Rd=303.226 kN [Verificata](#)

Tirante inferiore → Ed=352 kN < Rd=373.258 kN [Verificata](#)

Muro 19,0 m (Hmax 3,50)

Tirante inferiore → Ed=157,5 kN < Rd=373.258 kN [Verificata](#)

Esecuzione dei Tiranti

Per l' esecuzione dei tiranti è necessario realizzare N°4 tiranti di prova, individuati con la D.L., (2 superiori e 2 inferiori, DX / SX), attendere maturazione min 21 gg, provare a trazione fino al carico di esercizio (con apposito martinetto idraulico) . Dopo l' esito positivo delle prove è possibile procedere al completamento della realizzazione dei tiranti.

A termine, i tiranti, dovranno essere tensionati uno ad uno, con martinetto idraulico, fino al carico di esercizio per poi essere bloccati con un carico pari al 50%.

Voghera,

Il Progettista e D.L.
Dott. Ing. Cesare Campanini